



Editada por el Centro de Información y Gestión Tecnológica. CIGET Pinar del Río

Vol. 16, No.3 julio - septiembre, 2014

ARTÍCULO ORIGINAL

Modelo de regresión para la estimación del volumen fustal en plantaciones de *Pinus maestrensis* Bisse

Regression model to estimate the maturity stage volume of *Pinus maestrensis* Bisse

Daniel Nidier Rondón González¹, Héctor Barrero Medel², Yordan Lores Pérez³

¹Ingeniero Forestal, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Granma, Ministerio de Educación Superior, carretera de Bayamo a Manzanillo km 17 ½ Peralejo, Bayamo, Granma, Cuba. Correo electrónico: drondong@udg.co.cu

²Ingeniero forestal, Doctor en Ciencias Forestales, Facultad de Forestal y Agronomía, Universidad de Pinar del Río "Hermanos Saíz Montes de Oca", Ministerio de Educación Superior, calle Martí 270 final, Pinar del Río, Cuba. Correo electrónico: hbarrero@af.upr.edu.cu

³Ingeniero Forestal, Doctor en Ciencias Forestales, Facultad Agroforestal de Montaña, Universidad de Guantánamo, Ministerio de Educación Superior, carretera de Guantánamo a El Salvador km 5, El Salvador, Guantánamo, Cuba. Correo electrónico: yordan@fam.cug.co.cu

RESUMEN

El presente trabajo se realizó en los bosques plantados de *Pinus maestrensis* Bisse de la Empresa Forestal Integral Granma, con el fin de ajustar el modelo de regresión para la estimación del volumen de estas plantaciones. Se levantaron 50 parcelas de 500 m² y midieron 50 árboles tipos talados para su cubicación así como se probaron 41 ecuaciones de regresión para estimar el volumen. Los datos obtenidos de los árboles y parcelas se procesaron y sometieron a pruebas estadísticas de correlación y regresión, utilizando el paquete SPSS versión 15.0 para Windows. Los valores de correlación de Pearson, definieron como variables predictoras de los modelo las variables (g_t), (d_b), ($d_{1.30}$), ($g_{1.30}$), (A_c), y ($d_{1/2ht}$). El modelo de mejor ajuste para estimar el volumen de *Pinus maestrensis* fue el de Schumacher y Hall.

Palabras clave: Volumen, *Pinus maestrensis*, Estimación, Plantaciones, Modelos.

ABSTRACT

This work was done in planted forests of *Pinus maestrensis* Bisse Forestal Integral Granma, in order to determine the regression model to estimate the volume of these plantations. 75 plots of 500 m² were erected and measured 50 trees felled for cubing and 41 regression equations were tested to estimate the volume types. The data obtained from trees and plots were processed and subjected to statistical tests of correlation and regression, using SPSS version 15.0 for Windows. The Pearson correlation values, correlated with all variable except (hf) showing weak correlation. The variables (g_t), (d_b), ($d_{1.30}$) ($g_{1.30}$), (A_c), and ($d_{1/2ht}$) show a strong correlation. The greater statistical reliability model to estimate the volume of *Pinus maestrensis* was Schumacher and Hall.

Key words: Volume, *Pinus maestrensis*, Estimation, Plantations, Models.

INTRODUCCIÓN

En Cuba, la existencia de los pinares se debe a factores edáficos, porque viven en suelos ácidos, con poca capacidad para retener agua, como son, en primer lugar, los suelos arenosos y limoníticos. Estos últimos son los más pobres en elementos de los suelos cubanos, debido a la fácil filtración del agua, que lava todas las sustancias solubles, por lo que sólo los pinos, a través de la simbiosis con hongos en forma de micorrizas ectótrofas, son capaces de obtener por esa vía suficiente cantidad de nutrientes y sustancias alimenticias para mantener un crecimiento relativamente rápido y alcanzar porte arbóreo (Gómez, 1976).

Según Bisse (1988), en Cuba existen cuatro especies del género *Pinus*, todas endémicas, los cuales son: *Pinus tropicalis*, *Pinus caribaea*, *Pinus cubensis*, *Pinus maestrensis*. Los que se distribuyen irregularmente en la isla, sin embargo, la última (*Pinus maestrensis*) tiene un hábitat mucho más restringida que las anteriores, al localizarse solo en el macizo de la Sierra Maestra en las provincias de Granma y Santiago de Cuba.

En la actualidad los estudios reportados sobre esta especie, se limitan a su silvicultura y recientemente al análisis de los escenarios para la comercialización de su madera por (Cruz, 2010). Todo lo cual indica que en materia de epidemiología y rendimiento maderero o volumen la información existente es muy restringida.

Para los estudios de volumen se han desarrollado diversos métodos, en Cuba uno de los más usados es el que comprende un conjunto de procedimientos para estimar el volumen mediante el conocimiento de la relación entre variables de fácil medición, como el diámetro y la altura.

Los modelos matemáticos para la estimación del volumen han sido estudiados en Cuba por varios autores en plantaciones de especies como: *Pinus caribaea* Morelet var. *Caribaea* Burley Wright y Matos (1971), *Casuarina esquesitifolia* Báez y Gra (1988), *Eucalyptus* sp. Peñalver (1991), *Pinus tropicalis* Padilla (1999) y *Hibiscus elatus* Zaldívar (2001). Sin embargo no se ha encontrado información sobre la existencia de modelos para bosques plantados de *Pinus maestrensis*.

Esta especie, posee un gran valor maderable, constituye un alto por ciento del plan de tala de la EFIG y además posee el mayor patrimonio plantado en el macizo montañoso de la Sierra Maestra. Por tal motivo necesitan del estudio de modelos matemáticos de regresión de volumen.

Como se ha planteado hasta aquí, el *Pinus maestrensis* carece de los estudios de volumen, específicamente en las plantaciones existentes en el patrimonio de la Empresa Forestal Integral Granma, lo que limita el manejo más eficiente con las variables dasométricas, por lo tanto el objetivo de este trabajo fue ajustar un modelo de regresión para la estimación del volumen de plantaciones de *Pinus maestrensis* en la Empresa Forestal Integral Granma.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del área de estudio

Al cierre de la dinámica forestal en el año 2012 según MINAGRI (2013) las plantaciones de *Pinus maestrensis* contaban con 3 529,6 ha lo que representaba el 17,2% de patrimonio plantado de la EFIG, estas plantaciones estaban distribuidas en tres unidades empresariales de base silvícolas, las cuales pertenecen a los municipios Guisa (1697.6 ha), Buey Arriba (1638.9 ha) y Bartolomé Masó (194 ha).

Diseño de muestreo

El muestreo de las 50 parcelas rectangulares de 500 m² permitió determinar los 50 árboles tipos de *Pinus maestrensis*, en correspondencia con lo planteado por Calliez (1980) quien sugiere para la obtención de modelos de volumen de rodales coetáneos y homogéneos una muestra entre 50 a 100 árboles, estos árboles fueron apeados y medidos cada un metro de longitud del fuste total y posteriormente cubicados.

Todo ello permitió obtener una base de datos a las cual se le incluyó el conjunto de variables dendrométricas medidas a priori como fueron: diámetro a 1.30 m del suelo ($d_{1.30}$), diámetro a la mitad de la altura total ($d_{1/2ht}$), diámetro en la base del árbol (d_b), y ancho de copa (A_c). Además del cálculo del área basal a 1.30 ($g_{1.30}$) y área basal total del fuste (g_t).

Diseño estadístico

Para la selección del modelo de mejor ajuste se realizó primeramente una matriz de correlación de variables para el fuste con el volumen real total (V_{rt}) como variable dependiente y teniendo como variables independientes: altura total (h_t), diámetro a 1.30 m del suelo ($d_{1.30}$), área basal total del fuste (g_t), diámetro a la mitad de la altura total ($d_{1/2ht}$), diámetro en la base del árbol (d_b), área basal a 1.30 ($g_{1.30}$), ancho de copa (A_c) con el objetivo de identificar las variables independientes fuertemente correlacionadas con el volumen real total para el modelo.

Para evaluar el modelo de mejor ajuste con vista a la estimación del volumen del fuste, se analizaron 41 modelos de regresión, 20 de ellos de simple entrada, 10 de doble entrada y 11 de triple entrada.

En la mayoría de los casos un mismo modelo fue ensayado con diferentes variables independientes.

Para el procesamiento matemático-estadístico de los resultados se empleó el paquete estadístico SPSS versión 15.0 mediante el cual se realizó un análisis de regresión del volumen real total con las variables correlacionadas, para todos los casos.

La selección de la ecuación de volumen se realizó en correspondencia con lo reportado en la literatura por Cao *et al.* (1980) y Salas (2002) la cual consiste en las siguientes etapas:

- a) Bondad de ajuste mediante los estadísticos: R^2 corregida, Índice de Furnival (IF).
- b) Capacidades predictivas mediante los estadísticos: Raíz del Error Cuadrático Medio RECM, diferencia agregada DA.

La elección de la mejor ecuación estimadora de volumen, se efectuó a través de la asignación de puntajes a cada uno de los estadísticos.

La clasificación de mejor ajuste fue asignado a la correspondiente ecuación ajustada que presentó el menor valor de RECM calculado para toda la muestra, el menor valor de la media y desviación estándar de la RECM en las clases de validación hasta completar la asignación de puntajes con el total de modelos.

De igual manera se realizó con el análisis del sesgo; el mejor ajuste fue asignado a la ecuación que presentó la DA más cercana a cero, calculada para toda la muestra, el menor valor de la media en valor absoluto y desviación estándar de la DA en las clases de validación.

Finalmente, se obtuvo la sumatoria de estos puntajes para cada modelo, donde los menores puntajes finales indicaron ecuaciones más exactas. En caso de existir ecuaciones con el mismo puntaje, se optó por la expresión matemática más sencilla.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de los modelos de regresión del volumen en Pinus maestrensis

Modelos de regresión de volumen para el fuste

En la *tabla 1* se presenta la matriz de correlación de Pearson, donde se observa una fuerte correlación del volumen real total por hectárea (V_{rt}/ha) con las variables (g_t), (d_b), ($d_{1.30}$), ($g_{1.30}$) así como una baja correlación con el (Ac).

Tabla 1. Resultados del análisis de correlación entre las variables empleadas.

| | | VrT | d1,30 | d1/2 | db | gt | g1,30 | Ac | ht |
|-------|------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------|----|
| VrT | Correlación de Pearson | 1 | | | | | | | |
| | Sig. (bilateral) | | | | | | | | |
| | N | 50 | | | | | | | |
| d1,30 | Correlación de Pearson | 0,931(**) | 1 | | | | | | |
| | Sig. (bilateral) | 0,000 | | | | | | | |
| | N | 50 | 50 | | | | | | |
| d1/2 | Correlación de Pearson | 0,865(**) | 0,895(**) | 1 | | | | | |
| | Sig. (bilateral) | 0,000 | 0,000 | | | | | | |
| | N | 50 | 50 | 50 | | | | | |
| db | Correlación de Pearson | 0,958(**) | 0,987(**) | 0,889(**) | 1 | | | | |
| | Sig. (bilateral) | 0,000 | 0,000 | 0,000 | | | | | |
| | N | 50 | 50 | 50 | 50 | | | | |
| gt | Correlación de Pearson | 1,000(**) | 0,931(**) | 0,866(**) | 0,959(**) | 1 | | | |
| | Sig. (bilateral) | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | | | | |
| | N | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | | | |
| g1,30 | Correlación de Pearson | 0,960(**) | 0,959(**) | 0,813(**) | 0,967(**) | 0,961(**) | 1 | | |
| | Sig. (bilateral) | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | | | |
| | N | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | | |
| Ac | Correlación de Pearson | 0,490(*) | 0,612(**) | 0,317 | 0,592(**) | 0,490(*) | 0,583(**) | 1 | |
| | Sig. (bilateral) | 0,018 | 0,002 | 0,141 | 0,003 | 0,018 | 0,004 | | |
| | N | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | |
| ht | Correlación de Pearson | 0,664(**) | 0,718(**) | 0,650(**) | 0,710(**) | 0,664(**) | 0,583(**) | 0,342 | 1 |
| | Sig. (bilateral) | ,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,110 | |
| | N | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 23 | 50 |

** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

* La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

Así se definen como las variables predictoras de los modelos, aquellas fuertemente correlacionadas con el volumen y cuya obtención sea de la forma más práctica de obtener en correspondencia con los reportado en la literatura por (Peñalver, 1991) para *Eucalyptus sp.*, para *Pinus tropicalis* (Padilla, 1999) y para *Hibiscus elatus* por (Zaldívar, 2001).

En la *tabla 2*, se representan los diez modelos que mejor bondad de ajuste y capacidades predictivas presentaron, con sus respectivos coeficientes de regresión no estandarizados.

Como se observa en la *tabla 2* los diez modelos presenta una eficiente bondad de ajuste y capacidades predictivas, lo cual indican que son muy buenos modelos de regresión; esto se traduce en que los valores estimados coinciden por lo general en su totalidad con los valores observados.

Tabla 2. Diez modelos de mejor ajuste con vista a la estimación del volumen del fuste.

| Modelo | RECM | DA | R ² corregida | IF | Ecuación |
|------------------------|-------|-------|-----------------------------|-------|--|
| Schumacher y Hall | 1 | 0,000 | 1,000 | 0,001 | $V=0,001 db^{1,650} h^{0,0403}$ |
| Cúbico | 0,002 | 0,000 | 1,000 | 0,002 | $V=0,000 + (0,329*gt^2) + (0,02*gt^2) + (0,00*gt^3)$ |
| Cuadrático | 0,002 | 0,000 | 1,000 | 0,002 | $V=-0,001 + (0,333*gt) + (0,0000346*gt^2)$ |
| Lineal | 0,002 | 0,000 | 1,000 | 0,002 | $V=-0,01 + (0,333*gt)$ |
| Kopecky-Gehrhardt | 0,002 | 0,000 | 1,000 | 0,004 | $V= -0,001 + 0,332gt^{1,002}$ |
| Ogaya 2 | 0,002 | 0,000 | 1,000 | 0,003 | $V=b_0+b_1d_{1/2} + b_2(d_{1/2}h)$ |
| Potencia | 0,002 | 0,000 | 1,000 | 0,011 | $\text{Log}(V)=\text{log}(0,331) + 1,004*\text{log}(gt)$ |
| Schumacher y Hall 1933 | 0,184 | 0,034 | 0,980 | 0,187 | $\text{Log } v= -9,938 + 1,960 \text{ log } d_{1,30} + 0,934 \text{ log } h$ |
| Logarítmico Spurr 1952 | 0,155 | 0,024 | 0,986 | 0,156 | $\text{Log } v= -9,668 + 0,969 \text{ log } (d_{1/2}^2 h)$ |
| Stoate | 0,042 | 0,002 | 0,986 | 0,043 | $V= -0,029+0,001d_{1/2}^2 + 0,0000134d_{1/2}^2 + 0,004h$ |

Se resalta que de los diez modelos los primeros 7 presentaron los mejores resultados del ajuste con R² corregida igual a 1 y los Índice de Furnival IF más bajos así como los valores de la raíz del error cuadrático medio (RECM) y la diferencia agregada (DA) más bajos. Así por la practicidad en relación a la obtención de las variables predictoras se decide tener el modelo Schumacher y Hall como el más eficiente. Los resultados confirman las valoraciones realizadas por Loetsch, Zöhrer y Haller (1973) citados por Lores (2013), quienes aseguran que las tablas de volumen en función del diámetro y la altura producen estimaciones más exactas.

Este modelo coincide con Pece *et al.* (2002) quienes determinaron los mejores ajustes para la tabla de volumen de doble entrada en Álamos de la zona de riego de Santiago del Estero, Argentina. Sin embargo, difiere de los modelos propuestos en Cuba por Peñalver (1991), Padilla (1999), Zaldívar (2001) para plantaciones de *Eucaliptus* sp, *Pinus tropicalis*, *Hibiscus elatus* respectivamente y por Ares (1999) para *Pinus tropicalis* y *Pinus*

caribaea en bosques naturales, quienes encontraron superioridad en el modelo logarítmico de Spurr.

En la *Figura 1* se representa el grado de correspondencia o de adecuación del modelo propuesto con los valores reales, donde no se obtuvo diferencia significativa entre el volumen estimado y el volumen real para una significación de 1,000, mayor que 0,05.

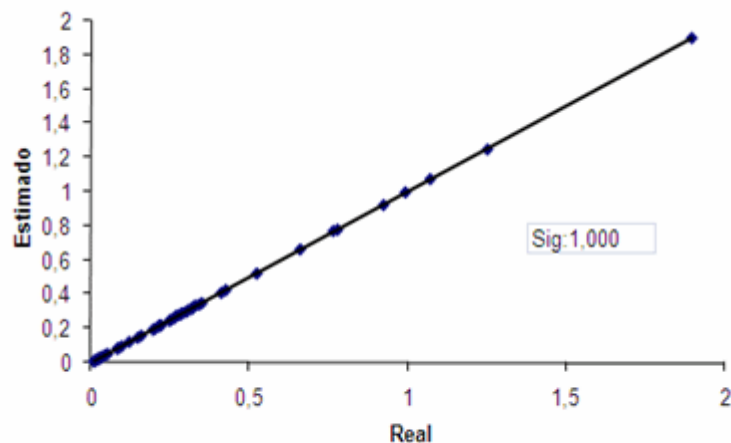


Figura 1. Comparación entre el valor real y el estimado con el modelo de mejor ajuste.

Para la validación del mejor modelo para el fuste con datos independientes de *Pinus maestrensis*, se midieron diez árboles tipo.

El interés primordial del proceso de validación es asegurar que los resultados sean generalizables en la población y que los árboles utilizados para la validación no sean específicos de la muestra utilizada para la estimación (Hair *et al.*, 1999). Por eso se utilizó otra muestra de la población y se evaluó la correspondencia de los resultados obtenidos de las dos muestras.

De acuerdo con Alder (1980) la validación es el procedimiento para evaluar en qué medida el modelo de regresión elegido representa la población. Una alternativa práctica de validación utilizada en este trabajo es que considera las técnicas estadísticas de análisis de residual entre los valores estimados por el modelo y los datos para su ensayo.

La validación arrojó buenos resultados para el modelo de mejor ajuste (el modelo aritmético de doble entrada de Schumacher y Hall): $V=0,002 \text{ db}^{1,454} \text{ h}^{0,164}$ esto demuestra la confiabilidad para la utilización de este modelo con vista a la construcción de las tablas de volumen única para la especie.

CONCLUSIONES

La fuerte correlación existente del volumen con el diámetro de la base y la altura total, además de la practicidad de la obtención de estas variables permitió la obtención del modelo eficiente para el volumen de *Pinus maestrensis* en plantaciones de la EFI Granma, en la Sierra Maestra, el cual resultó ser el de Schumacher y Hall dado por la siguiente ecuación:

$$V=0,002 \text{ db}^{1,454} \text{ h}^{0,164}$$

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alder, D. (1980). Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento con referencia especial a los trópicos: Commonwealth Forestry Institute, Reino Unido. FAO 2(22), 118 p.
- Báez, R. (1988). Estudios dasométricos de plantaciones de *Casuarina equisetifolia* Forst. en suelos cenagosos de la provincia de la Habana. 125 h. (Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas), ISCAH "Fructuoso Rodríguez" INCA.
- Bisse, J. (1988). Árboles de Cuba. Editorial Científico _ Técnica. Ciudad de la Habana. 384 p.
- Burley, R. L. y Dell, T. R. (1971). Quantifying Diameter. Distribution with the Weibull Function. Forest Science. 97-104.
- Calliez, F. (1980). Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento con referencia especial a los Trópicos. V.1 La estimación del volumen. Roma, Fao.33 p.
- Cruz Pérez, Y.(2010). Metodología para la elaboración de estrategias de marketing forestal sostenible en Cuba. 106 h. (Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Forestales). Universidad de Pinar del Río.
- Hair, J. F.; Anderson, E.; Tatham, R. y Black, W. (1999). Análisis Multivariante. Prentice Hall. Universidad Autónoma de Madrid. Quinta edición. 798 p.
- Loetsch, F.; Zöhrer, F. y Haller, K. E. 1973. Forest Inventory. 2 ed., Munich. BLV Verlagsgesellschaft München. Vol. II 469 p.
- Lores, y. (2013). Tablas dendrométricas y dasométricas de *Calophyllum antillanum* Britton, *Carapa guianensis* Aubl. y *Andira inermis* Sw. en bosques pluvisilvas de montaña de Baracoa, provincia Guantánamo. 99 h. (Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Forestales), Universidad de Pinar del Río.
- MINAGRI. (2013). Dirección provincial del Servicio Estatal Forestal. Dinámica Forestal de la provincia Granma. 12 p.

- Padilla, G. (1999). Tablas dasométricas para plantaciones de *Pinus tropicalis* Morelet. 90 h. (Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Forestales), Universidad de Pinar del Río.
- Pece, M. G.; Gaillard de Benítez, C.; de Galíndez, M. J. y Ríos, N. A. (2002). Tabla de volumen de doble entrada para álamos de la zona de riego de Santiago del Estero, Argentina. Quebracho. Revista de Ciencias Forestales. (009), 95-105; diciembre. Disponible en: <http://wwwfcm.unse.edu.ar/archivos/quebracho/q9-09.pdf>.
- Peñalver, A. (1991). Estudio de crecimiento y rendimiento de las plantaciones de *Eucalyptus* sp de la provincia de Pinar del Río. 101 h. (Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Forestales), UPR. "Hermanos Saíz Montes de Oca".
- Salas, C. (2002). Ajuste y validación de ecuaciones de volumen para un relicto del bosque de Roble-Laurel-Lingue. Bosque 23(2), 81-92.
- Zaldívar, A. (2001). Tablas dasométricas para plantaciones de *Hibiscus elatus* en la provincia de pinar del Río. 100 h. (Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Forestales), Universidad de Pinar del Río.

Aceptado: septiembre 2013

Aprobado: mayo 2014

Ing. Daniel Nidier Rondón González. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Granma, Ministerio de Educación Superior, carretera de Bayamo a Manzanillo km 17 ½ Peralejo, Bayamo, Granma, Cuba. Correo electrónico: drondong@udg.co.cu